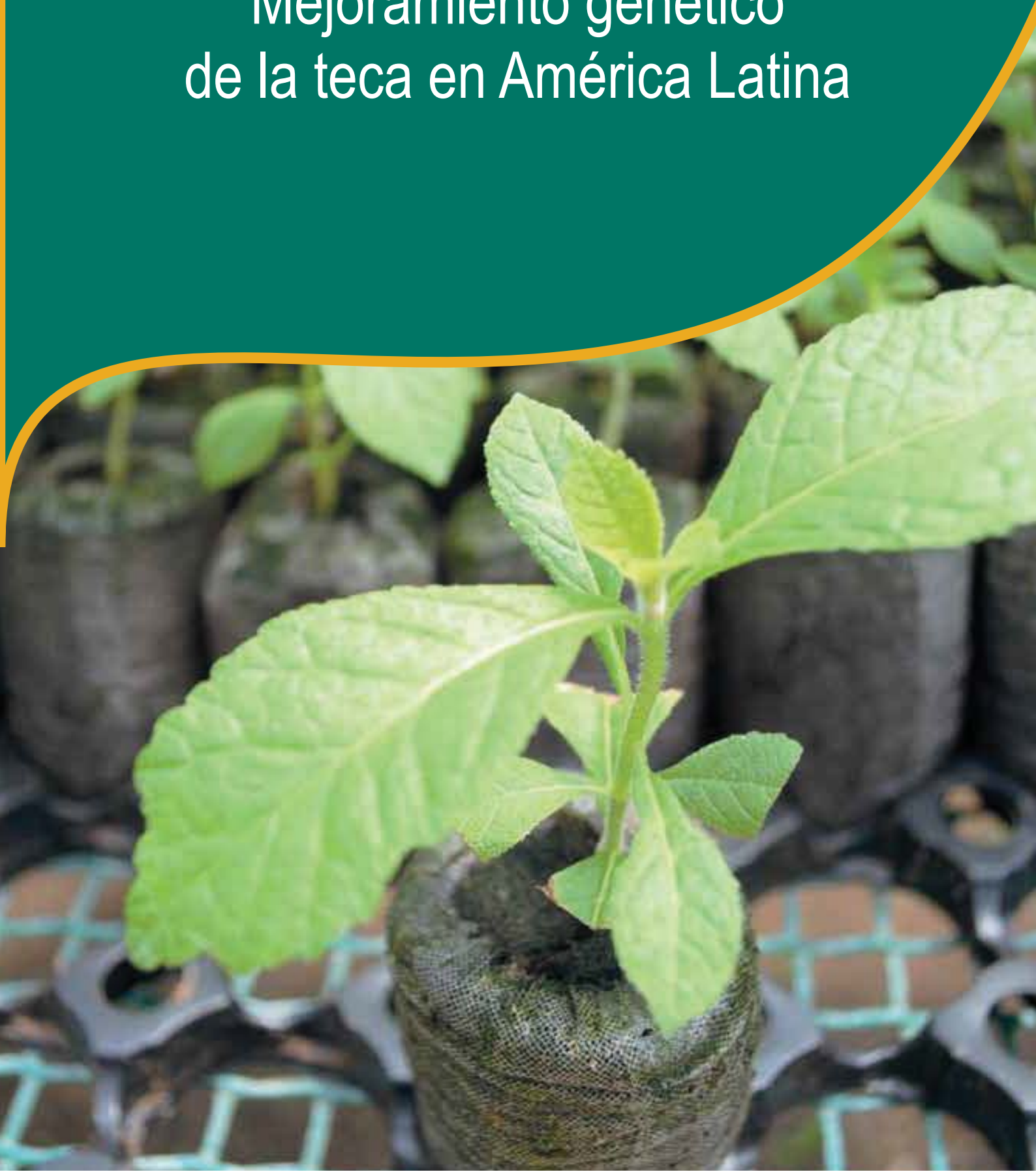


Capítulo 6

Mejoramiento genético de la teca en América Latina



Capítulo 6

Mejoramiento genético de la teca en América Latina

Olman Murillo

Jeff Wright

Oliver Monteuiis

Fernando Montenegro

Introducción de la teca a América Latina y material genético disponible

La teca (*Tectona grandis* Linn F.) es originaria de la India y Birmania, Tailandia e Indochina, en el continente asiático. Sin embargo, también ha sido plantada fuera de su distribución natural en otros países de Asia, África y América Latina. En la región de América Latina y el Caribe se encuentran plantaciones en algunos países de América tropical, como las islas del Caribe, Centroamérica, México y en varios países suramericanos (Keogh 1980).

Se estima que la introducción más significativa de germoplasma de teca en Latinoamérica inició en 1913 a través de Trinidad y Tobago, donde provino de Tenasserim, Myanmar (antigua Birmania) (Keogh 1979, 1980). En Panamá, las semillas provinieron de la India, del Jardín Botánico de Baroda vía Sri Lanka (antiguo Ceylán) (Behaghel 1999). La procedencia que se cultivó en el Jardín Botánico Summit Garden (Panamá) permitió luego la exportación de gran cantidad de semilla a distintos países de la región.

Se estima que en el transcurso del tiempo se introdujeron y registraron más de 15 procedencias en la región, por lo que se podrían encontrar diferentes orígenes en países como Costa Rica, Brasil, Colombia y Ecuador. En la década de 1950, la compañía bananera estableció en Quepos (Pacífico Central de Costa Rica) aproximadamente 200 ha de teca –esta es una de las plantaciones más antiguas de Centroamérica, y quizás de América Latina. En Mato Grosso, Brasil, se dieron introducciones comerciales desde Trinidad y Tobago a finales de los años 1960 (empresa Cáceres Florestal), de donde se constituyeron las primeras fuentes semilleras del Brasil (Matricardi 1989 citado

en Schnell e Schuhli y Paludzyszyn 2010). Estas plantaciones eran relativamente homogéneas, con las mismas características fenotípicas, excepto dos lotes que se asemejaban más a la teca de la India (Keogh 1979). Esto permite suponer que la procedencia Tenasserim (Birmania), introducida a través de Trinidad y Tobago, no fue la única fuente asiática de donde se introdujo material genético. Diversas compañías costarricenses importaron, en los años 1990, nuevas introducciones de germoplasma en pequeños lotes procedentes principalmente de poblaciones nativas y razas locales de Tailandia (antiguo programa de mejoramiento genético de Danida).

En la actualidad, la situación de las introducciones de teca en los diferentes países es la siguiente (Keogh 1980):

- En Honduras, las primeras semillas que se introdujeron fueron importadas de París, pero no germinaron. Los primeros árboles de teca sembrados se establecieron en la Estación Experimental Lancetilla de la United Fruit Company en 1927, con semilla proveniente de Trinidad y Tobago. En 1962 se inició un programa de cultivo de teca con las semillas de los árboles plantados en 1927; todas las plantaciones de la UFCo provinieron de esos primeros árboles.
- En Nicaragua se tiene registros de envíos de semillas de teca desde el Jardín Botánico Summit Garden en los años 1937 y 1947.
- En Cuba, la especie se introdujo desde Trinidad entre 1930-1931; entre 1937 y 1938 se recibió otro envío procedente del Jardín Botánico Summit Garden.
- En Venezuela, la semilla de teca provino de Trinidad; la primera plantación se estableció en Rancho Grande, en la localidad de Choroní (Ocumare de la Costa). Esos primeros árboles fueron cortados por mandato de las autoridades que decidieron eliminar las especies exóticas en la región (no obstante, crecieron árboles que rebrotaron de los tocones). Adicionalmente, a la estirpe traída de la isla se realizó un pedido más a Summit Garden en 1938.
- En Costa Rica, se desconoce la fecha de introducción y proveniencias; los datos disponibles son producto de una recolección en Guápiles en 1941; dichos datos se encuentran en una tarjeta en el Herbario del Museo Nacional. Los registros del Summit Garden indican que se realizaron envíos entre 1943 y 1944 que permitieron establecer dos plantaciones: una en Quepos, en terrenos de Banana Company of Costa Rica en 1943, y la segunda en Turrialba en terrenos del CATIE, aproximadamente en 1947¹.

¹ Esta plantación aún existe (marzo 2012), pero su condición no es muy buena pues el lugar de plantación no corresponde a las exigencias de sitio de la especie

- En Belice se introdujo teca en 1947 proveniente de Trinidad y otra en 1954, de fuente incierta.
- En El Salvador la teca llega alrededor de los años 50 con semilla del Caribe, pero no de Trinidad sino de Puerto Rico y de Honduras, sin embargo, estas dos no fueron las últimas introducciones, en el 54 y en el 68 se recibieron nuevas semillas de Puerto Rico y Costa de Marfil, África, respectivamente.
- En Guatemala se introdujo semilla de Summit Garden entre los años 1943-1947.
- A Colombia llegó semilla proveniente de Summit Garden en el periodo de 1944-1947, aunque también se importó de la India, Nigeria y Camerún con fines de investigación en ensayos de procedencia.

En síntesis, de acuerdo con Keogh (1980) se han identificado alrededor de 19 introducciones de semillas de teca en América Latina. Las introducciones se iniciaron a fines del siglo XIX y provinieron de Birmania y de la India. Si bien el clima y, en general, el sitio de muchos lugares de la región son aptos para el cultivo de esta especie, a pesar de los años de establecida en Latinoamérica, la especie no se ha traducido en una magnitud de plantaciones que generen una actividad económica importante. De hecho, y sin profundizar en las razones, las plantaciones de teca no se terminan de consolidar a pesar del potencial que tiene la región y de las experiencias en tecnología de reproducción y silvicultura.

Al inicio del 2000, se introdujo material genético clonal al Brasil procedente del Programa de Mejoramiento Genético de Teca en Sabah, Malasia insular (Goh et ál. 2007). Algunos de esos clones han sido propagados en forma masiva y ya alcanzan hasta varios millones de plantas propagados por medio de cultivo de tejidos. Estos genotipos han sido diseminados en la región latinoamericana desde entonces.

Se podría mejorar el rastreo del origen y movimientos de la teca en la región latinoamericana mediante el uso de nuevos desarrollos con marcadores genéticos, especialmente por medio de microsatélites (Fofana et ál. 2009, Verhaegen et ál. 2010). Trabajos recientes en este campo ya han alcanzado progresos significativos en la región; de hecho, en Costa Rica se cuenta con nuevos servicios de apoyo a las organizaciones (Araya et ál. 2005, Rojas y Murillo 2011).

¿Qué se puede mejorar en las plantaciones de teca por medio de la genética?

La experiencia con teca señala que las características que se pueden mejorar son las siguientes:

- Hábitos de crecimiento del fuste (rectitud del fuste, ramificaciones, aletones basales, grano espiral, grosor de la corteza)
- Resistencia al viento, especialmente en los primeros años de plantación
- Productividad (rendimiento y crecimiento, diámetro, altura, área basal, volumen)
- Gravedad específica y formación del duramen
- Color de la madera
- Crecimiento en suelos marginales (fertilidad, acidez, degradación)
- Tolerancia a las enfermedades

En la silvicultura moderna, las plantaciones se establecen según tres principios centrales: a) la calidad del sitio, la preparación del sitio y la nutrición; b) calidad del material genético, sea de semillas, estacas, o clones y c) la gestión de la plantación (tanto desde el punto de vista técnico como económico). La genética es la responsable por la calidad de la semilla y del material vegetativo, donde actualmente existen muchas opciones disponibles. En términos del mejoramiento genético, en la última década se inició un aceleramiento en el desarrollo de nuevos materiales y de técnicas de propagación masiva; los programas de mejoramiento están contribuyendo significativamente con el éxito y aumento de la productividad de las plantaciones de teca.

Probablemente, los primeros esfuerzos en mejoramiento genético de la teca iniciaron a principios de 1945 por parte de científicos británicos en países asiáticos (Richens 1945 en Birmania, hoy Myanmar). A finales de los años 1950 e inicios de 1960, muchos estudios impulsados por la cooperación internacional reportaban un progreso en los trabajos de mejoramiento y un avance en los rasgos de crecimiento (Gram et ál. 1958, Keiding y Boonkird 1960, Mathews 1961, Kedhamath y Raizada 1961). En Latinoamérica, el primer programa de mejoramiento genético se dio, probablemente, en Trinidad y Tobago con la participación de científicos británicos (Chalmers 1962). Como en todos los programas de mejoramiento de árboles, el crecimiento y el rendimiento se convirtieron en componentes esenciales de todos los programas de mejoramiento conocidos mundialmente.

Se ha reportado un moderado a fuerte control genético para rasgos como el diámetro, altura, área basal y volumen comercial (heredabilidades en el sentido estrecho h^2 desde 0,25 a 0,5) (Murillo y Badilla 2004a, 2009a).

En términos de propiedades de la madera, se han investigado varios rasgos (Leandro et ál. 2003); se ha registrado una fuerte evidencia del control genético en la gravedad específica de la madera y formación temprana del duramen. En trabajos recientes se ha encontrado también un fuerte control genético del color de la madera de duramen (Moya et ál. 2013). Estos rasgos serán esenciales, considerando que existe una clara tendencia, a nivel mundial, por acortar la rotación en las plantaciones. Por lo tanto, entre los esfuerzos del mejoramiento, las propiedades de la madera juvenil serán el enfoque principal en el futuro. Afortunadamente, se ha reportado una fuerte variación genética y una tasa alta de heredabilidad en la mayoría de estos rasgos, como se muestra en las figuras 6.1 y 6.2 (Leandro et ál. 2003, Murillo y Badilla 2004a, 2009a).

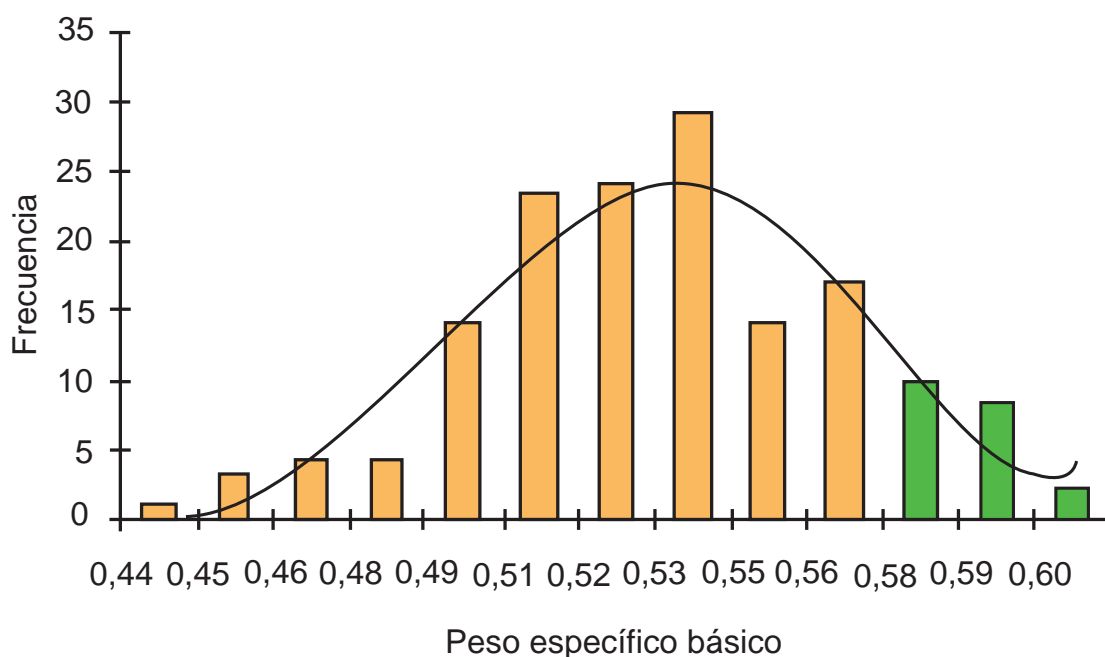


Figura 6.1. Variación en la gravedad específica de la madera de teca de cuatro años en 153 árboles de un ensayo de progenie en el Pacífico Central de Costa Rica

Fuente: Murillo y Badilla (2004a).

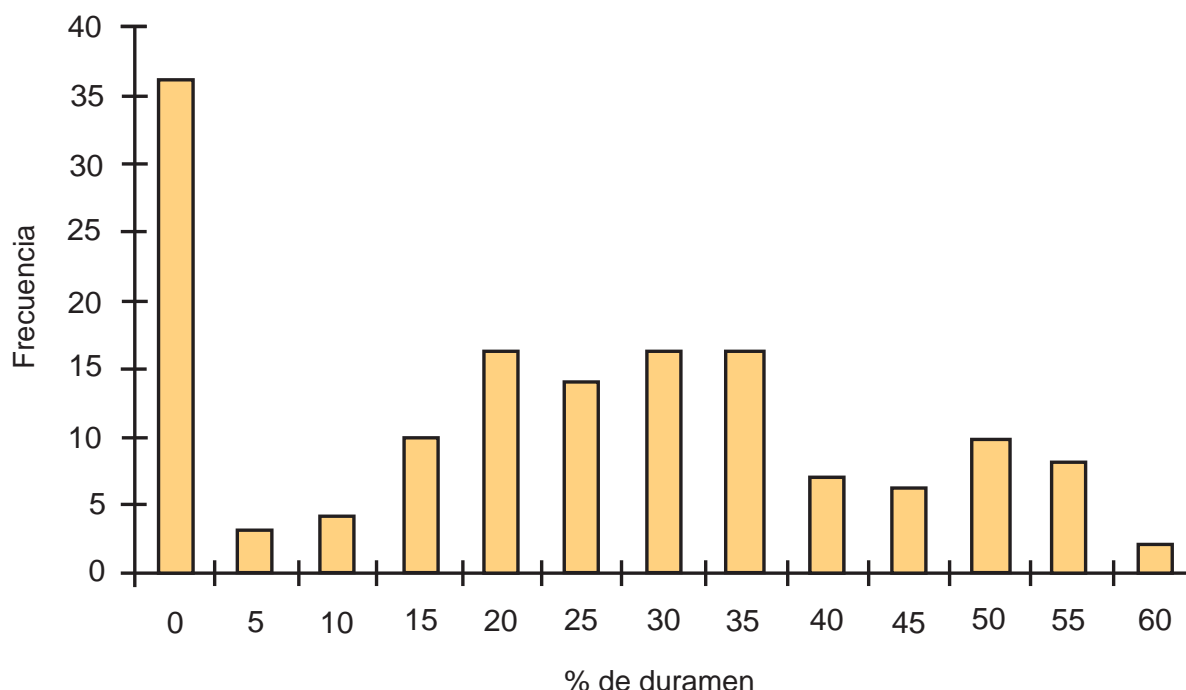


Figura 6.2. Porcentaje de aparición del duramen en teca de cuatro años en 148 árboles de un ensayo de progenie en el Pacífico Central de Costa Rica

Fuente: Murillo y Badilla (2004a).

Resultados similares se reportan en Asia, donde los árboles de mayor tasa de crecimiento diamétrico son los que inician formación temprana de duramen (Bath 2000). Otras propiedades de la madera y de hábitos de ramificación, también se reportan como de excelentes características en árboles jóvenes producidos bajo un régimen de mayor crecimiento (Goh y Monteuuis 2005, Goh et ál. 2007, Chaix et ál. 2008, Goh y Monteuuis 2009).

El color de la madera está siendo investigado para tratar de dilucidar sus efectos ambientales y genéticos (Moya et ál. 2013). Los primeros resultados muestran la existencia de un moderado a un alto control genético (h^2 desde 0,35 a 0,45). Esta propiedad es considerada como una de las más importantes en el mercado actual de madera de teca y la posibilidad de controlarla por medio del mejoramiento genético tiene un enorme potencial. Sin duda, este rasgo será incluido pronto en los programas avanzados de mejoramiento.

El daño por el viento significa un serio problema en las plantaciones de teca en casi todo el mundo. Las compañías deben gastar cantidades importantes de recursos desde el primer año para prevenir los daños en el fuste; en muchos casos, el daño es de tal magnitud que reduce la altura comercial en hasta 7,5 metros (Guzmán 2007). Recientemente, en Costa Rica se han encontrado clones de teca con un grado relevante de resistencia al viento en diferentes zonas del país, lo cual demuestra su alto control genético (Murillo y Badilla 2009a, Badilla y Murillo 2011a). Si bien aún no se conoce con certeza cuales propiedades de la madera están involucradas en este efecto mecánico (Guzmán 2007), estos resultados sugieren que se podrá alcanzar una importante reducción en el daño causado por el viento mediante la selección y uso de estos genotipos.

La tolerancia a las enfermedades es un rasgo básico para los programas de control genético en la mayoría de los árboles plantados. Existen algunos reportes en teca que mencionan el control genético en la prevención de ataques de termitas (Sarma y Thakur 1979), la descomposición de la madera (Rudman et ál. 1967) y contra la peligrosa *Hyblaea puera* (Mukhtar 1987)². La roya de la teca (*Olivea tectonae*)³ podría causar serios efectos económicos; sin embargo, un primer reporte en Costa Rica menciona un moderado a alto control genético (Arguedas et ál. 2005).

La tolerancia a los suelos marginales también podría tener un impacto económico importante en las plantaciones de teca. Es sabido que la teca es una especie que demanda suelos fértiles, lo que obliga a los inversionistas a buscar suelos ricos y de alta productividad, que hoy día son muy costosos y utilizados en cultivos de mayor rentabilidad y mejor flujo de caja (Thiele 2008). En cualquier terreno de gran extensión, siempre hay sectores con áreas de suelos marginales no recomendables para el establecimiento de la teca. No hace tanto, se creó en Costa Rica la Cooperativa de Mejoramiento Genético (Genfores); datos preliminares de pruebas con clones en mejoramiento de árboles muestran claramente la diferenciación de los clones en cuanto a su tolerancia a los suelos ácidos (Gramage 2010, Badilla y Murillo 2011b). Los resultados son muy promisorios y permitirían a los inversionistas en teca expandirse hacia suelos marginales y moverse a sitios con terrenos menos costosos, en futuro cercano. Estos resultados recuerdan la importancia del apropiado trasiego del material genético antes de ser enviado indiscriminadamente de una región a otra,

² *Hyblaea puera* (defoliador de la teca) es una polilla nativa del sudeste asiático.

³ Este hongo causa la aparición de manchas marrones y amarillas en las hojas; es una de las enfermedades más dañinas del follaje en viveros y plantaciones.

de un país a otro, sin antes haber sido debidamente evaluado y certificado. Estas consideraciones son de particular importancia con el uso de clones puros, que tienden a manifestar mayor especificidad y mayor riesgo si se plantan lejos de los sitios donde fueron evaluados y certificados genéticamente. La interacción genotipo/ambiente fuerte implica que el mejor material genético para una determinada región geográfica no será el mismo para otra región cercana. Este tipo de situaciones restringe la utilización comercial de algunos materiales en todos los ambientes. Después de una apropiada verificación en campo, los clones pueden ser clasificados como especialistas en determinados ambientes, o generalistas para todos los ambientes de una región.

Muchos otros rasgos que tienen que ver con la calidad del árbol han sido investigados por Genfores en Costa Rica y Colombia durante los últimos diez años (Murillo y Badilla 2004b, 2009a, 2009b, Vallejos et ál. 2010, Espitia et ál. 2011). Hábitos de ramificación, rectitud del fuste, gambas o aletones basales, grano en espiral, son todos rasgos de importancia económica y registran un importante control genético, que les permite ser incorporados en los programas regulares de mejoramiento. En materia económica, la calidad del fuste tiene una importante contribución al valor del árbol y su madera, tanto como lo hace el volumen en esta especie. Árboles con la mejor calidad de fuste son muy apreciados en los mercados especiales (Figura 6.3).

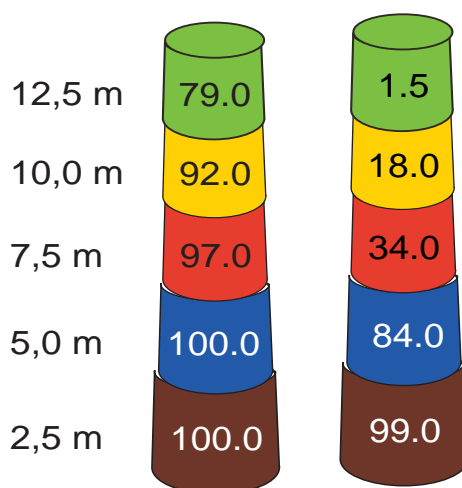


Figura 6.3. Efecto del mejoramiento en la calidad para uso industrial de las primeras cinco trozas de un árbol, expresado en el índice de calidad (de 0 a 100 = excelente). A la izquierda un árbol plus promedio de teca y a la derecha un árbol típico sin mejoramiento genético; material procedente del departamento de Córdoba, región caribe de Colombia.

Fuente: Espitia et ál. (2011).

Desarrollo de programas de mejoramiento y conservación genética de teca en América Latina

A pesar de que la diversidad genética de la teca en la región ALC no es muy amplia, el germoplasma introducido ha dado resultados satisfactorios en términos de productividad, especialmente en tasas de crecimiento, rectitud y calidad del fuste, e incluso en propiedades de la madera (Leandro et ál. 2003). Algunos esfuerzos han permitido determinar el origen de las primeras introducciones de germoplasma de teca. El uso de marcadores genéticos, principalmente microsatélites, podría ser de utilidad para esclarecer el origen, pero también para determinar la magnitud de la diversidad genética actual y para registrar o proteger cada árbol plus o clon de los programas actuales de mejoramiento genético (Fofana et ál. 2009, Verhaegen et ál. 2010, Rojas y Murillo 2011). Los primeros esfuerzos en mejoramiento genético en la región se dieron a inicios de los años 1980 en Hojancha, Guanacaste (Pacífico norte de Costa Rica), por medio del establecimiento de una red de rodales semilleros de alta calidad (Barquero 1984) y, posteriormente, un Banco de Semillas. Ambas iniciativas han impulsado la producción y comercialización de semilla con algún nivel de mejoramiento genético en toda la región latinoamericana (Badilla y Murillo 2011a). Los rodales semilleros son, por lo general, la primera opción para la producción de semilla mejorada a escala comercial, en forma rápida y relativamente eficiente. Su principal limitación es la baja ganancia genética esperada, que no supera el 6-8% (Murillo 1992).

En otros países de la región se vienen desarrollando trabajos en selección de árboles plus: Montenegro (2008) en Ecuador, CONIF (2009) en Colombia, Espitia et ál. (2011) en Colombia y Aguiar en Mato Grosso, Brasil⁴. Los árboles plus ayudan al establecimiento de huertos semilleros, categoría de fuente semillera que produce semilla de mucho mayor valor genético (Zobel y Talbert 1984). Genfores ha logrado seleccionar y clonar más de 400 árboles plus de teca en Costa Rica, Colombia y, recientemente, en Ecuador y Brasil. La mayor parte de ellos se encuentran en ensayos genéticos para certificación y posible conversión en fuentes semilleras (Badilla y Murillo 2011a). Los huertos semilleros se pueden definir como una plantación constituida exclusivamente por material previamente seleccionado e identificado como árbol plus. Se localizan en sitios aislados con el fin de reducir la posibilidad de contaminación con polen de vecinos de la misma especie de bajo valor genético. Por su origen, existen dos tipos de huertos semilleros: los provenientes de la progenie de árboles plus y los provenientes de la clonación de árboles plus. Los huertos clonales en teca han demostrado su utilidad en programas de mejoramiento actualmente en desarrollo en Malasia (Chaix et ál. 2011).

⁴ Aguiar, R. de. Febrero, 2011. Gerente de Verde Novo, Mato Grosso, Brasil. Comunicación personal

La semilla que producen logra alcanzar ganancias genéticas superiores al 20-25%, dependiendo de la rigurosidad con que fueron seleccionados los árboles plus y del grado de aislamiento del huerto semillero. El número inicial de familias (primer tipo de huerto) o de clones en un huerto semillero puede llegar hasta unos 50-60 genotipos, que paulatinamente se reducen a unos 20 a 30, a medida que se evalúa la información que proveen los ensayos genéticos o de verificación en campo de su superioridad genética. Estos ensayos genéticos son esenciales y de gran valor, ya que son los que determinan la verdadera superioridad genética de la colección de genotipos presentes en el huerto semillero. El raleo o eliminación de los genotipos inferiores se conoce como raleo genético. Una vez ejecutado el raleo genético, la semilla producida alcanza su valor genético más alto (semilla certificada genéticamente, o semilla comprobada). La calidad genética de la semilla producida en este tipo de huertos semilleros permite no solo obtener mayor productividad y tasa de crecimiento, sino que otorga una mucha mayor seguridad o garantía de buenos resultados al inversionista. Hasta la fecha, en toda América Latina únicamente existe un huerto semillero certificado genéticamente en Hojancha, Costa Rica (Badilla y Murillo 2011a). Sin embargo, no debe olvidarse que, paralelo a la utilización de semilla certificada genéticamente, debe garantizarse la aplicación de las mejores prácticas silviculturales para obtener un alto rendimiento en una plantación de teca. No es suficiente con un buen trabajo de mejoramiento genético; el manejo oportuno de la plantación es esencial para el logro de los objetivos del inversionista.

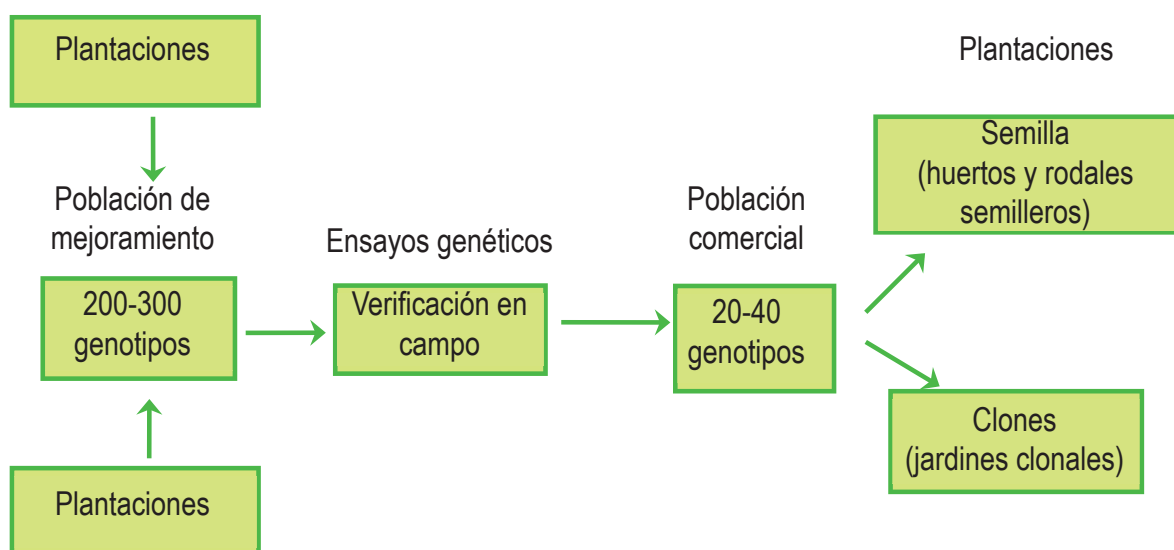


Figura 6.4. Ejemplo de un programa de mejoramiento genético en su primera generación.

El proceso de mejoramiento, se inicia con una población amplia de árboles plus que deberán ser verificados en campo mediante ensayos genéticos para finalmente utilizar a nivel comercial los individuos élite o certificados genéticamente. La liberación comercial de clones o semilla mejorada es la salida de un buen programa de mejoramiento y no debe ocurrir sin la validación de campo previa.

Cuadro 6.1. Escenario esperado de una primer generación de un programa de mejoramiento genético, con base en una ganancia genética de un 20% en volumen, un 25% en calidad y de un año en el tiempo de cosecha.

Escenario	Dap promedio	Volumen por árbol hasta 10 m de fuste	N° de árboles/ha calidad 1 y 2	Volumen/ha de cosecha de calidad 1 y 2
Sin mejoramiento (18 años)	35	0,67 m ³	100	67 m ³
Con mejoramiento (17 años)	38.3	0,80 m ³ (20% ganancia)	125 (25% ganancia)	100 m ³

Como una nueva fuente semillera, la estrategia clonal en teca se ha venido desarrollando con gran éxito. La razón fundamental es que al clonar un árbol plus, se logra capturar el 100% de su información genética. Mientras que al tomar su semilla, cada una de sus progenies logra capturar solamente un 50% de su madre o árbol plus seleccionado. Este principio se estableció a escala comercial en los eucaliptos desde inicios de los años 1970, lo cual dio paso al desarrollo de la nueva silvicultura clonal a nivel mundial (Ahuja y Libby 1993a, 1993b; Murillo et ál. 2001). Desde entonces, diversas estrategias y métodos de propagación vegetativa se han desarrollado en los últimos años. El cultivo *in vitro* irrumpió como la primera técnica de clonación en teca, inicialmente en los países asiáticos y luego en América Latina, y ya ha alcanzado escala comercial (Monteuuis 1995, 2000; Monteuuis et ál. 1995, 1998; Monteuuis y Goh 1999, Daquinta et ál. 2001, Goh y Monteuuis 2001, 2005, 2009; Castro et ál. 2002, Goh et ál. 2007, Chaix et ál. 2008). Sin embargo, las nuevas tecnologías de clonación *in vivo* de teca vienen suplantando rápidamente el uso de material *in vitro* en América Latina, debido a su menor costo, mayor facilidad de producción a escala comercial, menor dependencia de infraestructura y equipamiento y, en especial, debido al respaldo de programas de mejoramiento genético debidamente estructurados (Murillo et ál. 2003, Murillo y Badilla 2004, 2009a; Badilla y Murillo 2011a, 2011b).

Es importante señalar, que la silvicultura clonal en teca debe estar sustentada en programas de mejoramiento genético bien estructurados y no en la mera adquisición comercial de clones en el mercado. El uso indiscriminado de clones de teca de una región o país introducido en otro país o región con características ambientales diferentes, sin haber sido validados en campo localmente, puede resultar en plantaciones de crecimiento moderado o no tan alto como se esperaba. En Costa Rica, por ejemplo, se ha observado que los clones de teca seleccionados en el caribe del país, donde los suelos son ácidos, no muestran un crecimiento superior al ser plantados en el Pacífico norte, en suelos de mayor fertilidad y periodo seco más prolongado (Badilla y Murillo 2011b). Es recomendable que los clones se planten inicialmente en mezcla de no menos de diez genotipos, con el fin de reducir el riesgo de baja adaptabilidad a condiciones de sitio particulares. La experiencia de plantaciones clonales a escala comercial con teca se inició a finales de los años 1990 en Costa Rica (empresa Precious Woods), y ha alcanzado un desarrollo significativo con la cooperativa de mejoramiento genético Genfores. Hasta tanto los ensayos clonales en campo no permitan su certificación, no es prudente establecer plantaciones monoclonales de ningún tipo con esta especie. La mayor longevidad de una plantación de teca vs. una plantación de eucalipto sugiere mayor prudencia antes de dar el salto hacia una silvicultura monoclonal en teca. Nuevos huertos semilleros a partir de semilla y de clones se han establecido recientemente en el caribe de Colombia, los cuales podrían producir semilla mejorada genéticamente a partir del año 2013. No obstante, a partir del año 2012 ya sería posible plantar con clones comercialmente en Colombia (CONIF 2009, Espitia et ál. 2010).

Una pregunta que se debe responder es ¿dónde debe un inversionista adquirir material genético de teca para plantar? Sin duda, la mejor opción será siempre utilizar material genético que provenga de programas de mejoramiento genético que hayan seguido una rigurosa validación en campo previo a su liberación comercial. Es importante verificar que la validación del material genético haya ocurrido en condiciones de sitio semejantes a donde el inversionista desee plantar. Entre más lejos se encuentren los sitios donde fue evaluado el material, mayor será el riesgo de adaptabilidad. La probabilidad de obtener una pobre adaptabilidad será muy alta si se planta en un ambiente marginal (suelos ácidos, suelos de baja fertilidad, con periodo seco prolongado, zonas ventosas), un material evaluado en buenas condiciones de sitio. El daño por viento puede ser sumamente alto si no se utilizan genotipos que hayan sido garantizados como tolerantes al viento. En general, el riesgo es mayor con el uso de clones que con semilla mejorada debido a su menor variabilidad genética. En Costa Rica y Colombia se cuenta ya con buen material genético que ha superado varios filtros de verificación genética y permite su uso en estos países con un riesgo bajo.

Si se quiere establecer una plantación nueva en un país donde no hay una base previa de mejoramiento genético, una opción será adquirir material genético de algún programa de mejoramiento genético reconocido en la región, que garantice que los lotes (semilla o mezcla de clones) estén conformados por no menos de 20 a 25 genotipos. Paralelo a esta acción se podrá también establecer ensayos de procedencias preferiblemente nativas o de origen asiático real, junto con semilla de programas de mejoramiento genético.

No es conveniente adquirir semilla de fuentes dudosas o desconocidas, sin garantía de un trabajo riguroso de certificación genética en campo. Hoy en día prolifera en América Latina la venta de semillas y clones de teca que no proceden de programa de mejoramiento genético alguno. El riesgo de acabar con una plantación de baja productividad y pobre valor comercial es muy alto. No es aconsejable utilizar clones puros o el establecimiento de lotes monoclonales sin un trabajo de verificación previa; tampoco es recomendable utilizar lotes de semilla o mezcla de clones constituidos por pocos genotipos (< 20 genotipos).

Introducción de nuevas procedencias para ampliar la base genética local

La introducción inicial de teca en la región se presume que se realizó a partir de una base genética estrecha que podría, dentro de poco tiempo, manifestar problemas de expresión de la endogamia. Existe una urgente necesidad de importar material genético de poblaciones autóctonas asiáticas, preferiblemente, por su amplia variabilidad genética; también se podría importar semilla de programas de mejoramiento genético debidamente concebidos, sin importar si fueron desarrollados en sitios fuera del lugar de origen de la teca. Todo programa de mejoramiento genético forestal pensado para desarrollar material genético superior, a lo largo de varias generaciones de mejoramiento, debe establecer, desde sus orígenes, ensayos de procedencias debidamente diseñados. Con estos ensayos se buscan dos objetivos simples: 1) determinar la posible existencia de alguna población que supere claramente al material local disponible; 2) ampliar la base genética actual por medio de la introducción de genotipos sobresalientes y adaptados a las condiciones ambientales locales. Sin embargo, se hace difícil conseguir germoplasma de teca de los cuatro países de donde la especie es originaria: Myanmar (antigua Birmania), India, Laos y Tailandia. Estos países cada vez son más renuentes a exportar germoplasma de teca, debido a nuevas regulaciones sobre conservación de la biodiversidad, apoyadas por políticas nacionales proteccionistas.

La carencia o incertidumbre de la información sobre el origen de las procedencias y el número de árboles que constituyen el lote de semilla también pueden ser temas críticos. Para establecer un buen ensayo de procedencias, lo deseable es que los lotes de semilla provengan de poblaciones autóctonas o sitios de origen de la teca. Las poblaciones deben tener un tamaño mínimo importante que garantice su amplia diversidad genética. Los árboles colectados incluidos en el lote deben localizarse separados entre sí por al menos 500 metros con el fin de evitar su parentesco genético. Finalmente, el lote debe estar constituido por no menos de 20 a 25 árboles individuales. De manera ideal, la semilla debe provenir separada por árbol dentro de cada procedencia, sin embargo, esto es muy difícil de lograr. Así se lograría avanzar mucho más rápidamente con el futuro ensayo de procedencias, que podría ampliarse a un ensayo de procedencias/progenie y, permitiría evaluar simultáneamente los árboles individuales dentro de cada procedencia. Siempre que sea posible, es importante visitar el sitio que provee las semillas o los clones, ya que tendrá un impacto importante a largo plazo en los objetivos de la introducción del germoplasma.

La escogencia de las procedencias a introducir es otro aspecto importante. Por lo general, todo programa de mejoramiento genético busca aumentar la productividad y calidad de las plantaciones. En caso de que las condiciones ambientales locales no sean marginales para la teca (suelos ácidos, poca precipitación, temperaturas frías), la oferta de posibles procedencias a evaluar será mayor. Como primer paso, mediante un análisis de homologación deberá verificarse que las condiciones ambientales entre el sitio local y el del origen de las procedencias disponibles sean similares. De lo contrario, el riesgo de baja adaptabilidad será mayor (Zobel y Talbert 1984).

A pesar de las limitaciones, gracias a los esfuerzos de Danida y Oxford, en las décadas de 1970 y 1980, se realizaron numerosos intercambios de semilla de teca entre países donantes y receptores, y se establecieron series de ensayos de procedencias en muchos países de las regiones tropicales de América, África y Asia (Cameron 1966, Keiding et ál. 1986, Sandiford 1990, Dupuy y Verhaegen 1993, Behaghel 1999, Danarto y Hardiyanto 2001, Rance y Monteuuis 2004, Goh y Monteuuis 2009). Sin embargo, el mantenimiento y la situación general de estos rodales ha sufrido problemas por varios factores internos relacionados principalmente con la inestabilidad de las organizaciones estatales a cargo, lo cual resulta en una notable pérdida de la diversidad original del germoplasma y, en muchos casos, de la mayoría de los árboles más valiosos. La identificación de los recursos genéticos sigue siendo más y más problemática y poco fiable debido a la desaparición de información (etiquetas, carteles, números, maquetas

y mapas). Además, la pérdida gradual de la capacidad de germinación de la semilla de teca no permite almacenarla por más de algunos años.

El desarrollo de las nuevas opciones de propagación vegetativa (*in vitro* e *in vivo* o de mini-estaquillas en invernadero), se ofrecen hoy día como una opción para el intercambio de material genético entre países y organizaciones. Sin embargo, persisten limitaciones para el comercio de plantas vivas en muchos países debido a las restricciones fitosanitarias. En estos casos, el material producido *in vitro* tiene mejores posibilidades que las mini-estaquillas enraizadas o *cuttings*, debido a que no requiere de sustrato para ser enviado a otro país.

Derechos de propiedad y protección del germoplasma

Los derechos de propiedad y la legislación existente sobre protección de obtenciones vegetales han creado una nueva realidad a nivel mundial. Aunque se logre un consenso general e internacional, cada país puede y tiene reglas particulares que hacen difícil evitar, mediante procedimientos exclusivamente legales, la propagación comercial y uso ilegal de semilla o clones. Por ello, las organizaciones involucradas en el mejoramiento de la teca necesitan entender las leyes sobre la protección de las variedades de plantas en sus países y en la región.

El primer paso importante es lograr el registro, en las entidades estatales, de todos y cada uno de los materiales desarrollados por los programas de mejoramiento genético. Este registro se realiza de manera rigurosa y permite establecer la identidad de cada material con su debida denominación de origen. Dado que los descriptores morfológicos pueden no ser suficientes para identificar cada genotipo, hoy en día se vienen utilizando con éxito los marcadores moleculares (AFLP, microsatélites y otros), que permiten una total confiabilidad en la determinación de la huella digital de cada individuo (Araya et ál. 2005, Fofana et ál. 2009, Verhaegen et ál. 2010, Rojas y Murillo 2011). Sin embargo, a la fecha, su utilización en América Latina se ha logrado únicamente con las empresas miembros de Genfores.

La protección de los derechos de los productores de germoplasma no es fácil. Es importante lograr una negociación transparente entre productores y compradores de material genético. Esta situación puede facilitar el entendimiento y continuar motivando la inversión en mejoramiento genético de teca en la región.

Consideraciones generales sobre el potencial de la silvicultura clonal en teca

En América Latina, al igual que en la mayor parte del mundo, la teca ha sido propagada principalmente por semilla hasta hace unos 6-7 años, cuando se iniciaron las plantaciones clonales a escala comercial. La propagación de la teca por semillas tiene serias desventajas:

- I. Cuantitativamente se limita a la producción de semillas (Wellendorf y Kaosa-ard 1988, White 1991) y a una determinada época del año (fenología).
- II. Los individuos con mayor tasa de crecimiento tienden a florecer tarde, posiblemente debido a la función de la capacidad terminal del tejido de prolongar su periodo de crecimiento vegetativo el mayor tiempo posible (White 1991).
- III. Se ha reportado que muchos de los mejores genotipos tienden a producir semilla con baja tasa de germinación (Kaosa-ard 1986, Mascarenhas et ál. 1987, White 1991).
- IV. La obtención de plantas por semilla produce individuos sumamente variables, aun cuando sean medio hermanos o hermanos completos, lo cual puede tener un impacto económico alto en aspectos como tasa de crecimiento y calidad de la madera (Bailleres y Durand 2000, Chaix et ál. 2008, Chaix et ál. 2011).
- V. El limitado conocimiento genético preciso sobre la heredabilidad de los rasgos con importancia económica, como los hábitos de ramificación y otros aspectos cualitativos, presentan cierto grado de incertidumbre sobre la probable ganancia genética.
- VI. La heredabilidad y la ganancia genética es significativamente inferior al uso del clon, debido a que cada plántula solamente logra capturar una porción de la información genética (Murillo et ál. 2001).

Las nuevas tecnologías de producción masiva de clones permiten la producción constante de material de plantación en cualquier época del año y prácticamente sin limitación en la cantidad de individuos (Murillo et ál. 2003). En contraste con la propagación de semillas, donde cada individuo es genéticamente diferente, la propagación asexual o vegetativa consiste en la duplicación de genotipos; la información genética original se preserva mediante la división por mitosis y, por tanto, también se duplica la reproducción completa de los rasgos del árbol originalmente seleccionado. Esto es esencial porque permite la captura y reproducción de toda la

información genética y los rasgos de importancia económica de cada árbol plus que ha sido seleccionado (Chaix et ál. 2011, Monteuis et ál. 2011). Otra ventaja de la propagación vegetativa es que puede ser aplicada a cualquier individuo que, por ser muy joven aun, no produce todavía semillas fértiles o no haya iniciado su capacidad reproductiva, o en árboles que no logren producir flores o frutos debido a condiciones ambientales desfavorables (Murillo et ál. 2001).

Para la propagación vegetativa en teca se pueden usar varias técnicas. El injerto ha sido empleado con éxito, pero exclusivamente para el establecimiento de huertos semilleros clonales (Emmanuel y Bagchi 1984, Bagchi et ál. 1991, Tilakaratna y Dayananda 1994, Kaosa-ard 1998). La producción vegetativa masiva de la teca se inició en la década de 1990, principalmente vía micro-propagación *in vitro* (Monteuis 1995, Monteuis et ál. 1995, 1998). Esto ha sido posible gracias al desarrollo de técnicas eficientes adaptadas a los clones de árboles de teca seleccionados a cualquier edad (Monteuis 2000). La micro-propagación de teca ha sido exitosamente alcanzada en diferentes países en Latinoamérica como Colombia (Castro et ál. 2002) y Cuba (Daquinta et ál. 2001) a partir de la selección de árboles plus locales. Mientras que en Brasil y Ecuador se reproduce y comercializa masivamente material clonal introducido y de selecciones locales.

A partir del 2000, se inicia el desarrollo de una nueva línea de clonación de teca basada en la producción de minijardines clonales y obtención de mini-estaquillas en ambiente protegido o invernadero. Cada árbol plus es capturado vegetativamente a partir de uno o varios brotes basales. El material se pone a enraizar en un ambiente protegido con alta humedad relativa y alta temperatura, y luego se planta en bancales de arena en un sistema hidropónico, donde conforman pequeños lotes por cada árbol plus. Estas plantas se constituyen entonces en un minijardín clonal y sus nuevos brotes tiernos son cosechados cada 10-15 días, para producir nuevas plantas idénticas genéticamente. El sistema continúa y se puede dimensionar según la demanda de plantas del mercado. Por lo general, estos sistemas de producción clonal utilizan no menos de 20 clones a escala comercial, de una población base de no menos de 50 a 60 clones. A estas nuevas tecnologías se les conoce como producción clonal *in vivo* y han demostrado su mayor versatilidad, menor costo y mayor eficiencia en general (Murillo et ál. 2003). Los costos de producción de un clon bajo esta modalidad son cada vez más bajos debido al refinamiento de las técnicas de minijardines clonales y de las condiciones de enraizamiento al aire o aeroponía (Figura 6.5). Una nueva versión, conocida como minijardines clonales temporales, permitirá aumentar la eficiencia del sistema y disminuir aún más los costos por planta clonada (Badilla y Murillo 2011a).



Figura 6.5. Sistema de enraizamiento de mini-estaquillas de teca al aire (aeroponía) dentro de minitúneles, desarrollado por Genfores en Costa Rica en el 2006. Foto: Olman Murillo

El sistema de producción clonal puede también ser empleado de manera mixta con semilla mejorada genéticamente. Con frecuencia, los huertos semilleros o determinados genotipos no producen la cantidad de semilla requerida. En estos casos se procede a germinar la poca semilla disponible y se establece como un minijardín clonal. Las plántulas nacidas se propagan masivamente mediante clonación por mini-estaquillas, cosechando los brotes tiernos quincenalmente, con lo cual se pueden obtener grandes cantidades de nuevas plantas. Esta opción de clonación masal se conoce como amplificación familiar y se utiliza también a partir de semilla obtenida por cruzamiento controlado entre dos progenitores de muy alta calidad.

El éxito de la clonación o silvicultura clonal dependerá no solamente de la apropiación correcta de las técnicas de propagación, sino principalmente, de clonar genotipos de árboles superiores genéticamente. La clonación debe considerarse como la fase comercial de un programa de mejoramiento o de conservación genética. No es, por tanto, una actividad aislada y de reproducción de materiales que no han sido debidamente validados en campo, mediante ensayos genéticos rigurosos.

El otro aspecto crucial es el uso de los clones en campo a escala comercial. El primer paso en silvicultura clonal son las plantaciones a partir de mezcla de clones. Estos lotes mixtos tendrán variabilidad genética, con lo que disminuye el riesgo de pobre adaptación de algún genotipo (clon) en particular. Esta estrategia es saludable y previene fracasos con el uso de clones, y se recomienda particularmente cuando se pretenda plantar en un ambiente nuevo con poca o ninguna experiencia previa. Una vez que los ensayos genéticos de campo den información sobre la asociación genotipo/sitio, se podrá entonces avanzar hacia el establecimiento de lotes monoclonales (Ball et ál. 2000, Badilla y Murillo 2011b). Sin embargo, tal y como se mencionó anteriormente, debido a lo largo del ciclo de producción de teca, es recomendable que este proceso lleve su debido tiempo y rigor.

Las plantaciones clonales tenderán a ser mucho más uniformes, lo que facilitará enormemente su manejo. Sin embargo, es sabido que entre dos individuos obtenidos a partir de un mismo clon puede ocurrir variación; esto se conoce como efecto clonal o efecto “C” (Zobel y Talbert 1984, Hackett 1985). Primeros datos de ensayos genéticos clonales muestran una mayor uniformidad, alto rendimiento, calidad de los fustes y una reducción esperada del turno de cosecha, tal y como ha ocurrido con otras especies forestales (Wellendorf y Kaosa-ard 1988, Monteuuis y Goh 1999, Goh y Monteuuis 2005).

La opción clonal parece ser la mejor manera de maximizar el rendimiento de las inversiones de los productores de teca. Desde un punto de vista más general, con la creciente presión demográfica, la disponibilidad de tierras se está convirtiendo en un problema cada vez más crítico; de allí la necesidad de sacar el mejor provecho de cualquier área que pueda ser plantada. Los clones de teca de alta productividad, con calidad superior de madera y fuste y debidamente seleccionados pueden utilizarse como monocultivo o en sistemas agroforestales. En esta dirección, la selección de genotipos de teca con copa estrecha, podrían ser muy recomendables para la asociación con cultivos. Si se logra plantar los primeros años con cultivos de ciclo corto entre las líneas de la teca clonal, se posibilitaría la reducción de más del 50% de los costos totales de una plantación ordinaria de teca. Estos costos se deben a la preparación de sitio, control de malezas y fertilización, que fácilmente podrían ser “financiados” por el cultivo asociado. Esta combinación permitiría la posibilidad de obtener un flujo de caja positivo temprano debido a los cultivos asociados sembrados entre las filas de la teca. La utilización de leguminosas como cultivos asociados beneficiaría a los árboles de teca por enriquecimiento natural del suelo.

Orientaciones para los cultivadores de teca y los inversionistas

La teca es una especie de gran potencial y hay que hacer todo lo posible por que los que la cultivan, así como los programas de inversiones, hagan todas las operaciones de la mejor manera posible. Una de las fuentes fundamentales de mejoramiento de las inversiones es la genética, pues puede aumentar la rentabilidad del cultivo al mejorarse la forma de los árboles, su productividad, el color de la madera, las propiedades físicas y mecánicas, la resistencia a plagas y enfermedades y el crecimiento en suelos marginales. El mejoramiento genético cuenta con muchas tecnologías en aplicación, desde la utilización de semillas mejoradas de huertos genéticos y huertos clonales, hasta la reproducción clonal *in vitro* o *in vivo*. Dependiendo de la escala de las plantaciones, es recomendable contar con un programa de mejoramiento genético propio, o bien asociarse a algún programa colectivo de mejoramiento, como es el caso de Genfores. También es fundamental que los programas individuales y colectivos consideren la necesidad de ir introduciendo nuevas procedencias en sus colecciones, aun cuando esto se hace cada vez más difícil debido a que cada dueño de material genético desea proteger los derechos de propiedad.

Finalmente, en teca, la reproducción clonal está siendo ya una práctica frecuente y en un futuro próximo será difícil imaginar programas de inversiones o programas de reforestación de asociaciones de propietarios, que no consideren la producción de plantas de clonación en sus plantaciones.

Referencias

- Ahuja, MR; Libby, WJ. 1993a. Clonal forestry I: Genetics and biotechnology. Berlin, Springer-Verlag. 277 p.
- Ahuja, MR; Libby, WJ. 1993b. Clonal Forestry II: Conservation and application. Berlin, Springer-Verlag. 240 p.
- Araya, E; Murillo, O; Aguilar, G; Rocha, O; Woolbright, S; Keim, P. 2005. Possibilities of breeding teak (*Tectona grandis*) in Costa Rica assisted by AFLP markers. Kurú 2(5). http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior5/pdf/Articulo%202.
- Arguedas, M; Murillo, O; Ayuso, F; Madrigal, O. 2005. Variación en la resistencia de clones de teca (*Tectona grandis* L.f.) ante la infección de la roya (*Olivea tectonae* Rac.) en Costa Rica. Kurú: 2(6):10 p. Disponible en http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior6/pdf/Articulo%202.pdf

- Badilla, Y; Murillo, O. 2011a. Avances en el mejoramiento genético de la teca en Genfores, Costa Rica. Conferencia Mundial de Teca patrocinada por CATIE, FAO y Teaknet (San José, CR, 31 oct. – 2 nov.).
- Badilla, Y; Murillo, O. 2011b. Evaluación del comportamiento de clones de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. V Congreso Forestal Latinoamericano (Lima, PE, 18-21 oct.).
- Bagchi, SK; Gupta, PK; Arya, RS; Joshi, DN. 1991. Evaluation of graft survival percentages in *Tectona grandis*. J. Tree Sci. 10 (2): 62-65.
- Baillères, H; Durand, PY. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. Bois et Forêts des Tropiques 263: 17-29.
- Ball, JB; Pandey, D; Hirai, S. 2000. Global overview of teak plantations. In Proc., Site, technology and productivity of teak plantations (Chiang Mai, Thaïlande, 26-29 Jan. 1999). FORSPA Publication no. 24. TEAKNET Publication no. 3. p. 11-33.
- Barquero, M. 1984. Establecimiento de rodales semilleros en el Centro Agrícola Cantonal de Hojancha, Guanacaste. Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica, ITCR. 85 p.
- Bath, KM. 2000. Timber quality of teak from managed plantations of the tropics. Bois et Forêts des Tropiques, 263: 6-16.
- Behaghel, I; Monteuis, O. 1999. A propos du séminaire: «Site, technology and productivity of teak plantations (Chiang Mai, Thaïlande, 26-29 janvier 1999). Bois et Forêts des Tropiques 261: 70-79.
- Behaghel, I. 1999. Etat des plantations de teck (*Tectona grandis* L.f.) dans le monde. Bois et Forêts des Tropiques 262: 6-18
- Cameron, AL. 1966. Genetic improvement of teak in New Guinea. Australian Forestry 30(1): 76-87.
- Castro, DR; Diaz, J; Linero, JC. 2002. Propagación clonal in vitro de árboles élite de teca (*Tectona grandis* L.) Biotechnologia 4(1): 49-53.
- Chaix, G; Monteuis, O; Garcia, C; Alloysius, D; Gidiman, J; Bacilieri, R; Goh, DKS. 2011. Genetic variation in major phenotypic traits among diverse genetic origins of teak (*Tectona grandis* L.f.) planted in Taliwas, Sabah, East Malaysia. Annals of Forest Science 68(5):1015-1026.
- Chaix, G; Monteuis, O; Goh, DKS; Bailleres, H; Boutahar, N. 2008. Quality control and mass production of teak clones for tropical plantations. In Bhat, KM; Balasundaran, M; Bhat, KV; Muralidharan, EM; Thulasidas, PK. (eds.). Proc., 2007 International symposium “Processing and marketing of Teak wood products of planted forests”. Kerala Forest Research Institute, India and International Tropical Timber Organization, Japan. p. 146-157.

- Chalmers, WS. 1962. The breeding of pine (*Pinus caribaea* Mor.) and teak (*Tectona grandis* L.) in Trinidad: Some early observations. Eighth British Commonwealth Forestry Conference, East Africa. 10 p. Trinidad, Government Printing Office.
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal). 2009. Mejoramiento genético forestal para las especies roble, nogal, teca y aliso. Informe Técnico Convenio No. 023-05 IICA-MADR.
- Danarto, S; Hardiyanto, EB. 2001. Results of the progeny test of teak at 12 years of age at Jember, East Java. *In Proc., Regional Seminar on Teak* (3. Yogyakarta, ID, 31 July - 4 Aug. 2000). p. 249-253.
- Daquinta, M; Ramos, L; Capote, I; Lezcano, Y; Rodríguez, R; Trina, D; Escalona, M. 2001. Micropropagación de la teca (*Tectona grandis* L.F.). *Revista Forestal Centroamericana* 35: 25-28.
- Dupuy, B; Verhaegen, D. 1993. Le teck de plantation *Tectona grandis* en Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques* 235: 9-24.
- Emmanuel, CJSK; Bagchi, S. 1984. Stock-scion compatibility in Teak (*Tectona grandis*). *Silvae Genet.* 33(2-3): 53-56.
- Espitia, M; Murillo, O; Castillo, C. 2011. Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis* L.) en Córdoba (Colombia). *Colombia Forestal* 14(1): 81-93.
- Fofana, IJ; Ofori, D; Poitel, M; Verhaegen, D. 2009. Diversity and genetic structure of teak (*Tectona grandis* L.f) in its natural range using DNA microsatellite markers. *New Forests* 37:175–195.
- Goh, DKS; Chaix, G; Bailleres, H; Monteuis, O. 2007. Mass production and quality control of teak clones for tropical plantations: The Yayasan Sabah Group and Forestry Department of Cirad Joint Project as a case study. *Bois et Forêts des Tropiques* 293: 65-77.
- Goh, DKS; Monteuis, O. 2001. Production of tissue-cultured teak: the Plant Biotechnology Laboratory experienc. *In Proc., Regional Seminar on Teak* (3. Yogyakarta, ID, 31 July - 4 Aug. 2000). p. 237-247.
- Goh, DKS; Monteuis, O. 2005. Rationale for developing intensive teak clonal plantations, with special reference to Sabah. *Bois et Forêts des Tropiques* 285: 5-15.
- Goh, DKS; Monteuis, O. 2009. Status of the 'YSG BIOTECH' program of building teak genetic resources in Sabah. *Bois et Forêts des Tropiques* 301: 33-49.
- Gram, K; Larse, C. 1958. The flowering of teak (*Tectona grandis*) in aspect of tree breeding, based on observations in Thailand. *Natural History Bulletin of the Siam Society* no. 19.

- Gramage, C. 2010. Evaluación del comportamiento de clones de teca en Costa Rica. Tesis. Cartago, Costa Rica, ITCR, Escuela de Ingeniería Forestal. 72 p.
- Guzmán, N. 2007. Evaluación del doblamiento de teca (*Tectona grandis* L.f.) en plantaciones jóvenes de la empresa Barca S.A. Práctica de especialidad. Cartago, Costa Rica, ITCR, Escuela de Ing. Forestal. 107 p.
- Hackett, WP. 1985. Juvenility, maturation, and rejuvenation in woody plants. Horticultural reviews 7: 109-155.
- Kaosa-ard, A. 1986. Teak, *Tectona grandis* Linn. f.: nursery techniques, with special reference to Thailand. Copenhagen, Denmark, Danida Forest Seed Center. Seed leaflet no. 4. 42 p.
- Kaosa-ard, A. 1998. Teak breeding and improvement strategies. In Proc., Regional seminar on Teak "Teak for the future" (2. Yangon, Myanmar, 29.5-3.6.1995). FAO-Teaknet. p. 61-81.
- Kedharnath, S; Raizada, MB. 1961. Genetics and forest tree breeding. In Proc., Silvicultural Conference (10. Dehra Dun, India) Part II: 203-214.
- Keiding, H; Boonkird, Sa-Ard. 1960. Budding and grafting of teak. Nueva Delhi, India, Subcomisión de la teca. FAO/TSC 60/3.3.
- Keiding, H; Wellendorf, H; Lauridsen, EB. 1986. Evaluation of an international series of teak provenance trials. Horsholm, Denmark, Danida Forest Seed Centre. 81 p.
- Keogh, R. 1979. Does teak have a future in tropical America? Unasylva 31: 13-19.
- Keogh, R. 1980. Teak (*Tectona grandis*) provenances of the Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. Presented at the Rio Piedras IUFRO Meeting, Working Group S1.07.09 (Rio Piedras, Puerto Rico, 8--12 Sept.). p. 343-358
- Leandro, L; Garzón, D; Murillo, O. 2003. Potencial de mejoramiento genético de propiedades de la madera de teca. In Simposio sobre la teca (26-28 nov. 2003, Heredia, CR). Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional.
- Mascarenhas, AF; Kendurkar, SV; Gupta, PK; Khuspe, SS; Agrawal, DC. 1987. Teak. In Cell and tissue culture in forestry. Vol.3. Bonga, JM; Durzan, DJ. (Eds.). Dordrecht, The Netherlands, Martinus Nijhoff Publishers. p. 330-315.
- Mathews, JD. 1961. A progress of forest genetics and forest tree breeding research. Report to the Government of India under FAO-Expanded Technical Assistance Program FAO-ETAP. Report no. 1349.
- Montenegro, F. 2008. Memoria técnica sobre las actividades resumidas de Fundación Forestal Juan Manuel Durini en Endesa Botrosa y el trópico, bajo la dirección ejecutiva de Fernando Montenegro S. Quito, Ecuador FFJMD 397 p.

- Monteuuis, O. 1995. Recent advances in clonal propagation of teak. *In Proc., International Workshop of BIO-REFOR* (Kangar, Malaysia, Nov. 28 - Dec. 1, 1994). p. 117-121
- Monteuuis, O. 2000. Propagating teak by cuttings and microcuttings. *In Proc., Site, technology and productivity of teak plantations* (Chiang Mai, Thaïlande, 26-29 Jan. 1999). FORSPA Publication no. 24. TEAKNET Publication no. 3. p. 209-222.
- Monteuuis, O. Vallauri, D; Poupard, C; Hazard, L; Yusof, Y; Wahap Latip, A; Garcia, C; Chauvière, M. 1995. Propagation clonale de tecks (*Tectona grandis*) matures par bouturage horticole. *Bois et Forêts des Tropiques* 243: 25-39.
- Monteuuis, O; Bon, M-C; Goh, DKS. 1998. Teak propagation by in vitro culture. *Bois et Forêts des Tropiques* 256: 43-53.
- Monteuuis, O; Goh, DKS. 1999. About the use of clones in teak. *Bois et Forêts des Tropiques* 261: 28-38.
- Monteuuis, O; Goh, DKS; Garcia, C; Alloysius, D; Gidiman, J; Bacilieri, R; Chaix, G. 2011. Genetic variation of growth and tree quality traits among 42 diverse genetic origins of *Tectona grandis* planted under humid tropical conditions in Sabah, East Malaysia. *Tree Genetics and Genomes* 7(6):1263-1275.
- Moya, R; Marín, JD; Murillo, O; Leandro, L. 2013. Wood physical properties, color, decay resistance and stiffness in *Tectona grandis* clones with evidence of genetic control. *Silvae Genética* 62(3):142-152.
- Mukhtar, A. 1987. Relative resistance of different clones of *Tectona grandis* to teak defoliator, *Hyblaea pueria* Cram (Lepidoptera: *Hyblaeidae*) in south India. *Indian Forester* 113(4): 281-286.
- Murillo, O. 1992. Metodología para el diseño y establecimiento de rodales semilleros. *Tecnología en Marcha (ITCR)* 11 (Número especial): 3-9.
- Murillo, O; Badilla, Y. 2004a. Breeding teak in Costa Rica. *In IUFRO Meeting. Forest Genetics and Genomics*. (1-5 nov., Charleston, South Carolina, USA). www.ncsu.edu/feop/iufro_genetics2004/proceedings.pdf
- Murillo, O; Badilla, Y. 2004b. Calidad y valoración de plantaciones forestales. Manual. Cartago, Costa Rica, ITCR. 51 p.
- Murillo, O; Badilla, Y. 2009a. Mejora genética de la teca: avances y tendencias en los últimos 10 años. *In Congreso Internacional del Cultivo de Teca* (1. 16-17 set., 2009, Universidad de Quevedo, Ecuador).
- Murillo, O; Badilla, Y. 2009b. Calidad y valor en pie de plantaciones de teca en Costa Rica. *In Congreso Internacional del Cultivo de Teca* (1. 16-17 set., 2009, Universidad de Quevedo, Ecuador).

- Murillo, O; Badilla, Y; Obando, G. 2001. Semillas versus propagación vegetativa: ¿hacia dónde vamos? *Revista Forestal Latinoamericana* 16 (30): 67-77.
- Murillo, O; Rojas, JL; Badilla, Y. 2003. Reforestación Clonal. 2 ed. Cartago, Costa Rica, ITCR. 36 p.
- Rance, W; Monteuiis, O. 2004. Teak in Tanzania: Overview of the context. *Bois et Forêts des Tropiques* 279: 5-10.
- Richens, RH. 1945. Forest tree breeding and genetics. Burma, Imperial Agricultural Bulletin no. 8. 79 p.
- Rojas, F; Murillo, O. 2011. Avance en el uso de marcadores moleculares en la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal Genfores. *In* Congreso Forestal Latinoamericano (5. 18-21 oct., Lima, Perú).
- Rudman, P. Costa, EWB da; Gay, FJ. 1967. Wood quality in plus trees of teak (*Tectona grandis*). *Silvae Genetica* 16(3): 102-105.
- Sandiford, M. 1990. An account of the identification of existing *Tectona grandis* populations in Solomon Islands: A first step toward the improvement of *Tectona grandis*. Solomon Islands, Forestry Division. 15 p. (Forestry Research Note N° 61-01/90).
- Schnell e Schuhli, G; Paludzyszyn, F. 2010. O cenário da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. *Pesquisa Florestal Brasileira (Colombo)* 30(63): 217-230.
- Sen Sarma, PK; Thakur, ML. 1979. Relative termite resistance of heartwood of teak trees from known seed sources. *Holzforschung und Holzverwertung* 31(1): 14-16.
- Thiele, H. 2008. Variables edáficas que afectan el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en la vertiente del Pacífico de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. San José, Costa Rica, UCR. Sistemas de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos. 184 p.
- Tilakaratna, D; Dayananda, KJT. 1994. Forest tree improvement in Sri Lanka: a baseline study. Rome, Italy, UNDP/FAO Working Paper N°3. 23 p.
- Vallejos, J; Badilla, Y; Picado, F; Murillo, O. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Revista Agronomía Costarricense* 34(1): 105-119. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v34n01_105.pdf
- Verhaegen, D; Fofana, IJ; Logossa, ZA; Ofori, D. 2010. What is the genetic origin of teak (*Tectona grandis*) introduced in Africa and in Indonesia? *Tree Genetics and Genomes* 6(5):717-733.

- Wellendorf, H; Kaosa-ard A. 1988. Teak improvement strategy in Thailand. *In Proc., Site, technology and productivity of teak plantations* (Chiang Mai, Thaïlande, 26-29 Jan. 1999). FORSPA Publication no. 24. TEAKNET Publication no. 3.
- White, KJ. 1991. Teak: some aspects of research and development. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Publication no. 17. 53p.
- Zobel, B; Talbert, J. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. New York, Wiley & Sons. 505 p.